昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*，September 2007，50(9)：967 – 974　　ISSN 0454-6296

# 微波处理对绿豆象的杀虫效果及对红小豆发芽率的影响

张民照，金文林，王进忠，孙淑玲，覃晓春，张志勇[*]

（北京农学院植物科学技术系，北京　102206）

**摘要**：通过设置不同时间和功率的微波对裸露绿豆象 *Callosobruchus chinensis*（L.）成虫、与红小豆混合的成虫、绿豆内幼虫及卵进行处理，以研究微波对绿豆象的杀虫作用及对绿豆象成虫产卵量、幼虫羽化率及卵孵化率等生物学特性的影响。试验结果表明：微波处理裸成虫的死亡率随处理时间及功率增加而升高。成虫在中高火和高火分别处理 60 s 和 50 s 以上时间时死亡率过半，为 51.21% ~ 99.92%。处理与红小豆混合的成虫死亡率随功率和时间变化趋势同相同处理的裸虫，但相同条件下与红小豆混合的成虫死亡率明显高于相同处理的裸虫。低火至中低火处理 60 s、解冻 50 s 及中火至高火 40 s 以上时间时成虫死亡都过半，为 55.75% ~ 100%，而中火处理 70 s、中高火至高火 60 ~ 70 s 可使成虫全部死亡。微波处理具一定后续效应，处理的成虫虽没立刻死亡但随后死亡率仍比对照高。成虫高火处理 50 s 后的第 3 天校正死亡率可达 87.74%。微波处理还可降低绿豆象成虫产卵量、幼虫羽化率、卵孵化率及红小豆发芽率。成虫、卵和豆内幼虫对微波敏感性依次增高。红小豆在中低火处理 60 s、解冻 50 s、中火 40 s、中高火至高火 30 s 以上时间时发芽率都低于一半，为 0.21% ~ 48.33%。微波对绿豆象杀虫效果显著，但使用时需考虑微波仪器、处理功率和时间、产品用途及含水量等诸多因素的影响并进行优化试验以取得最佳效果。

**关键词**：绿豆象；红小豆；微波处理；杀虫效果；发芽率

**中图分类号**：Q966　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2007)09-0967-08

# Insecticidal efficacy of microwave treatment against *Callosobruchus chinensis* (L.) (Coleoptera：Bruchidae) and its effects on the germination rate of adzuki beans

ZHANG Min-Zhao，JIN Wen-Lin，WANG Jin-Zhong，SUN Shu-Ling，QIN Xiao-Chun，ZHANG Zhi-Yong[*]

(Department of Plant Science and Technology，Beijing University of Agriculture，Beijing 102206，China)

**Abstract**：The efficiency of microwave treatment to kill *Callosobruchus chinensis* (L.) weevils was assessed. The bare adults of the weevil，adults mixed with adzuki beans，larvae living in mung beans and eggs on mung beans were treated with different microwave power and exposure time，and its effects on the adult oviposition，larva emergence and egg hatching of the weevil and the germination rate of adzuki beans were observed. The results showed that when the bare adults were treated with microwave，the adult mortalities increased with the exposure time and microwave power，and more than half of adults were killed after being treated with mid-high power for at least 60 s or high power for at least 50 s，with a mortality of 51.21% – 99.92%. When the adults mixed with the adzuki beans were treated，the varying tendency of adult mortalities under different treatments of microwave power and exposure time was similar to that of the bare adults，but the mortalities of adults mixed with adzuki beans were obviously higher than those of the bare adults at the same treatment conditions，and 55.75% – 100% of adults were killed under the following treatments：low to mid power for at least for 60 s，defrost power for at least 50 s or mid to high power for at least 40 s. All adults were killed when treated with mid power for 70 s or mid-high power for at least 60 s. Microwave treatment had aftereffects on *C*.

---

基金项目：北京农学院人才引进科研补贴经费；北京市教委科技发展计划项目(KM200510020010)；北京市优秀人才培养资助项目(20051D0502103)

作者简介：张民照，男，1965 年生，山东胶南人，博士，副教授，研究方向为昆虫生态与害虫综合防治，E-mail：minzhaozhang@tom.com

* 通讯作者 Author for correspondences，E-mail：zhangzy16@yahoo.com.cn

收稿日期 Received：2007-03-06；接受日期 Accepted：2007-06-23

*chinensis*, higher adult mortalities were found in the treatments than in the control even if the adults did not die immediately after being treated. The adult corrected mortalities on the 3rd day after being treated reached 87.74%. Microwave also decreased the adult oviposition, larva emergence, egg hatching and germination of adzuki beans. The susceptibility of adult, egg and larva living in mung beans to microwave was from low to high. As high as 51.67% - 99.79% of adzuki beans failed to germinate under the following treatments: mid power for 60 s, defrost power for 50 s, mid power for 40 s, mid-high or high power for 30 s. It was so concluded that microwave treatment had prominently lethal effects on *C. chinensis*. When using microwave to eliminate pests from agricultural products, however, many factors, such as microwave machine, treating power and time, usage and water content of agricultural products and so on, should be considered and optimizing experiments should be performed to achieve the best results.

**Key words**: *Callosobruchus chinensis*; adzuki bean; microwave treatment; insecticidal efficacy; germination rate

绿豆象 *Callosobruchus chinensis* (L.)属鞘翅目豆象科，分布广，食性杂，危害重。为控制其危害人们开展了大量防治研究，如温水烫杀(陆惠生，2000)、用植物抽提物杀虫(李云寿等，2001；Kima *et al*.，2003)、药剂防治(王进忠等，2005)、辐照杀虫(Opel and Ahmed，1977；杨长举等，1993；高美须等，2004)等，但这些技术都有一定的缺点。随着人们对环保和食品安全的要求日益提高，无公害防治技术越来越受到重视，其中微波处理也用于害虫防治，如杀灭米象 *Sitophilus oryzae* 和锯谷盗 *Oryzaephilus surinamensis*(邵小龙等，2003)、烟草粉螟 *Ephestia elutella*(龚信文等，1995)、菜豆象 *Acanthoscelides obtectus*(娄巍和吕洁，1997)、松褐天牛 *Monochamus alternatus*(奚小华等，2004)、大头金蝇 *Chrysomya megacephala*(Sripakdee *et al*.，2005)及锯谷盗和谷象 *Sitophilus granaries*(陈慧等，2006)等。目前科技发展使微波炉在单位和家庭中得到普及，且大功率、大容量微波设备也已商品化，因此用微波来防治害虫具较大实际意义。本试验用家用微波炉为微波源来处理绿豆象以研究微波对绿豆象的杀灭作用，目的在于为家庭无公害防治绿豆象提供参考依据。

# 1 材料与方法

## 1.1 试验材料

WP750 型微波炉由广东顺德格兰仕制造，输入功率 1 180 W，炉内体积 23 L，工作频率 2 450 MHz。功率档有高火、中高火、中火、解冻、中低火和低火 6 档，输出功率分别为 750 W、637.5 W、495 W、300 W、277.5 W 和 127.5 W。

试虫绿豆象于 2003 年 9 月从校内红小豆仓库内采集并用健康红小豆或绿豆为寄主在气候箱内(宁波海曙赛福实验仪器厂，型号 PRX-250A-30)经连续多年传代繁殖而得。饲养温度(30 ± 1)℃，相对湿度 50% ~ 80%，光周期 16L:8D。

## 1.2 微波对成虫的作用

(1)裸虫处理：将 24 h 内羽化成虫集中于长宽为 30 cm × 20 cm 的尼龙袋(浙江东海筛网厂)中，取一定数量成虫置袋内，封口后置微波炉内处理；(2)虫豆混合处理：处理成虫和红小豆混合物时，称 250 g 健康红小豆置袋内，在豆粒中央放入成虫后立即用豆粒包埋，并轻轻上下颠倒网袋数次使虫与豆混匀，收紧袋并扎紧置炉内处理。处理设置低火至高火 6 个功率档；各功率档又分别设置 20 s、30 s、40 s、50 s、60 s 和 70 s 6 个时间，共 36 个处理，每处理重复 5 次，每重复试虫都多于 30 头。以相应不做处理的成虫为对照。处理到时立即停机，仔细检查试虫，对不活动的试虫再用解剖针连续多次轻触触角无反应者即定为死亡。分别统计存活数和死亡数，计算死亡率，因对照中无试虫死亡因此无需校正死亡率。

## 1.3 微波处理成虫的后续效应

裸虫按 1.2 节方法处理后，选取各功率下 40 s 和 50 s 的处理，将残余活虫置袋内于人工气候箱内继续饲养，观察处理后第 1、2、3 天死亡情况，以未处理成虫作对照，分别计算死亡率和 Abbott 校正死亡率。

## 1.4 微波对幼虫的作用

微波对幼虫的作用以处理幼虫羽化为成虫数来间接表示。杀灭幼虫越多羽化成虫数越少。用在 24 h 内大量羽化的成虫接种健康绿豆，饲养 12 天

后，此时豆内幼虫多为 3～4 龄。称取 5 g 含幼虫绿豆（平均 84 粒）置纸盘中于炉中处理。设置 6 个功率档和 2 个时间（20 s 和 40 s）共 12 个处理，每处理重复 4 次。对照不进行处理。处理的和对照绿豆置培养皿内于气候箱内饲养至成虫不再羽化为止，统计各重复成虫羽化数。

### 1.5　微波对卵的作用

微波对卵的作用以处理卵孵化为幼虫再羽化为成虫数来间接表示。在养虫袋内平铺 1 kg 绿豆，接种 24 h 内羽化成虫约 300 头并产卵 1 h，此时绝大多数绿豆落卵 1 粒。称取带单卵绿豆 5 g，置纸盘中于炉内处理，每处理重复 6 次。处理设置、饲养、数据统计同 1.4 节。

### 1.6　微波对成虫产卵量及所产卵孵化率的影响

将 24 h 内羽化成虫接种红小豆 1 h，挑选具单卵小豆放入指形管内置气候箱内饲养至成虫羽化。将 24 h 内羽化于指形管中的雄雌成虫分别于微波炉内在各功率档下处理 20 s，共 6 处理。处理后挑选活成虫按雄雌 1∶1 配对，置内盛 10 g 健康红小豆培养皿中于气候箱内饲养产卵，直至成虫全部死亡。每功率处理重复 4 次，每重复用雄雌成虫各 1 头。统计各重复的成虫产卵量，然后继续饲养至成虫不再羽化为止，统计羽化成虫数，计算卵孵化率。

### 1.7　微波处理对发芽率的影响

为检验微波处理对小豆品质的影响，用发芽率来作检测其质量改变的指标。时间设置 20 s、30 s、40 s、50 s、60 s 6 个处理，其他设置同 1.2 节。每处理用健康红小豆 30 粒，处理后用清水浸泡 2 h，均匀分布于湿纱布上，并用湿纱布覆盖，置气候箱内保湿发芽，计算发芽率，用未处理同批小豆作为对照。

### 1.8　显著性分析

显著性分析用 Duncan 新复极差法和 DPS 软件（唐启义和冯明光，2002）。所有百分数都经反正弦平方根转换后再显著性分析，并以转换后数据计算校正死亡率，然后将各反正弦平方根的平均数再反转换为百分数为结果（杨竹选和李晓军，2003）。

## 2　结果与分析

### 2.1　微波对绿豆象成虫的杀灭作用

微波处理对裸露成虫的杀虫效果见表 1。从表中可看出，成虫死亡率（重复平均值，下同）在相同功率下随处理时间延长而升高或在相同处理时间下随功率增加而升高。低火下处理 20～30 s 和中低火处理 20s 时无成虫死亡，其他各处理都有成虫死亡，但只有在中高火和高火下分别处理 60 s 和 50 s 以上时间时成虫才死亡过半，死亡率为 51.21%～99.92%，且处理 70 s 时最高可使裸虫分别死亡 85.25%和 99.92%。最高功率高火下各时间处理间差异都极显著（$P < 0.01$）；最长处理时间 70 s 下除中低火与解冻外其他各功率间差异都极显著。

微波处理与红小豆混合的成虫死亡率见表 2。从表中可看出，成虫死亡率随功率和时间变化趋势与裸虫类似，但相同条件下与红小豆混合的成虫死亡率明显高于裸虫的，如低火至中高火处理 70 s、低火至高火 40～60 s、高火 30 s、中火至高火 20 s 两者间都差异极显著；中低火至中高火 30 s 差异显著（$P < 0.05$）。虫豆混合处理仅在低火处理 20 s 时无成虫死亡，其他各处理都有成虫死亡。与裸成虫的相比用较低功率或较少处理时间成虫就可死亡过半，如低火、中低火下处理 60 s、解冻 50 s、中火至高火 40 s 以上时间或各功率下处理 60～70 s 时成虫死亡都过半，超过 50.98%，且中火处理 70 s、中高火至高火处理 60～70 s 时成虫全部死亡。

### 2.2　微波处理绿豆象成虫的后续效应

微波处理成虫后具一定后续效应，主要表现在处理后成虫死亡率比对照的高，裸虫处理后 1～3 天死亡率和校正死亡率见表 3。从表中可看出，成虫校正死亡率总变化趋势是随处理功率、处理时间及处理后天数的增加而升高。相同功率下处理后的第 2～3 天 50 s 和 40 s 之间的成虫校正死亡率差异极显著。处理 50 s 后第 1～3 天校正死亡率过半的功率分别是中高火至高火、中火至高火、解冻至高火，为 52.35%～87.74%；而 40 s 的只有高火下第 3 天才达到 52.19%。高火 50 s 及解冻 40 s 的第 3 天校正死亡率与第 1 天的差异极显著，与第 2 天的差异显著。处理 40 s 后中低火的各天间差异显著、而低火的第 2 天与第 1、3 天差异显著。

### 2.3　微波处理对绿豆象幼虫的作用

在无寄生蜂寄生致死情况下，微波对幼虫杀灭作用明显。成虫羽化量在相同时间内随功率增加或在相同功率下随时间延长而降低，即被杀死的幼虫量越多。处理内藏幼虫绿豆 20 s 时，低火至高火及对照的成虫平均羽化量分别是 107.75、65.75、12.25、9.25、3.25、1.25 和 126.75 头，各功率下都有成虫羽化。对照、低火、中低火间差异极显著，且都

**表 1 微波处理绿豆象裸成虫的死亡率**

**Table 1 The bare adult mortality of *Callosobruchus chinensis* treated with different exposure time and microwave power**

| 处理时间 Exposure time (s) | 低火 Low power 死亡率(%) Mortality | $P_1$ | $P_2$ | 中低火 Mid-low power 死亡率(%) Mortality | $P_1$ | $P_2$ | 解冻 Defrost 死亡率(%) Mortality | $P_1$ | $P_2$ | 中火 Mid power 死亡率(%) Mortality | $P_1$ | $P_2$ | 中高火 Mid-high power 死亡率(%) Mortality | $P_1$ | $P_2$ | 高火 High power 死亡率(%) Mortality | $P_1$ | $P_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.00 ± 0.00 | cC | cC | 0.00 ± 0.00 | cD | cD | 0.96 ± 0.81 | bC | bcD | 1.10 ± 0.92 | bD | bcD | 3.30 ± 0.08 | abE | abE | 6.57 ± 0.05 | aF | aF |
| 30 | 0.00 ± 0.00 | dC | cC | 1.24 ± 1.09 | cC | bcD | 2.97 ± 1.33 | cC | bD | 12.87 ± 0.11 | bC | aC | 16.03 ± 0.10 | abD | aD | 20.58 ± 0.15 | aE | aE |
| 40 | 0.35 ± 0.65 | eBC | dBC | 9.06 ± 0.01 | dB | cC | 12.67 ± 0.05 | dB | cC | 23.89 ± 0.40 | cB | bB | 32.83 ± 1.61 | bC | abC | 42.77 ± 1.10 | aD | aD |
| 50 | 1.23 ± 1.11 | eAB | eABC | 12.01 ± 0.68 | dB | dBC | 16.94 ± 0.21 | dB | cdBC | 24.86 ± 2.14 | cB | cB | 48.19 ± 1.12 | bB | bB | 64.12 ± 0.13 | aC | aC |
| 60 | 2.81 ± 0.02 | eA | eAB | 19.86 ± 0.33 | dA | dAB | 25.00 ± 0.23 | cdA | cdAB | 30.78 ± 0.17 | cB | cB | 51.21 ± 0.15 | bB | bB | 76.49 ± 0.55 | aB | aB |
| 70 | 3.41 ± 0.31 | eA | eA | 25.55 ± 0.03 | dA | dA | 31.82 ± 0.02 | dA | dA | 46.99 ± 0.66 | cA | cA | 85.25 ± 0.33 | bA | bA | 99.92 ± 0.07 | aA | aA |

注：数据后小写字母表示在相同处理时间下各功率间的差异显著性，大写字母表示在相同功率下各时间之间的差异显著性。$P_1$ 和 $P_2$ 分别代表 0.05 和 0.01 水平的差异显著性(Duncan 氏新复极差法测验)，下表同，否则另外说明。

Notes: Small letters indicate significance between different powers at the same exposure time. Capital letters indicate signficance between different exposure time at the same power. $P_1$ and $P_2$ stand for the significance at 0.05 and 0.01 level, respectively (SSR). The same for the following tables unless otherwise stated.

**表 2 微波处理与红小豆混匀的绿豆象成虫死亡率**

**Table 2 Mortality of *Callosobruchus chinensis* adults mixed with adzuki beans under different treatments of exposure time and power of microwave**

| 处理时间 Exposure time (s) | 低火 Low power 死亡率(%) Mortality | $P_1$ | $P_2$ | 中低火 Mid-low power 死亡率(%) Mortality | $P_1$ | $P_2$ | 解冻 Defrost 死亡率(%) Mortality | $P_1$ | $P_2$ | 中火 Mid power 死亡率(%) Mortality | $P_1$ | $P_2$ | 中高火 Mid-high power 死亡率(%) Mortality | $P_1$ | $P_2$ | 高火 High power 死亡率(%) Mortality | $P_1$ | $P_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.00 ± 0.00 | eE | dC | 0.49 ± 0.92 | deF | dF | 0.95 ± 0.79 | dF | dE | 6.59 ± 0.13 | cF | cF | 18.26 ± 0.11 | bE | bD | 30.43 ± 0.62 | aD | aD |
| 30 | 0.66 ± 1.27 | fE | eC | 3.90 ± 1.45 | eE | dE | 9.64 ± 0.55 | dE | cE | 17.59 ± 0.31 | cE | bE | 25.96 ± 0.15 | bD | bD | 45.05 ± 0.29 | aC | aC |
| 40 | 9.97 ± 0.06 | eD | dB | 18.08 ± 0.54 | dD | dD | 39.91 ± 0.30 | cD | cD | 64.69 ± 0.16 | bD | bD | 69.76 ± 0.10 | bC | bC | 84.92 ± 0.30 | aB | aB |
| 50 | 17.05 ± 0.54 | fC | fB | 34.96 ± 0.25 | eC | eC | 55.75 ± 0.42 | dC | dC | 81.48 ± 0.37 | cC | cC | 96.11 ± 1.44 | bB | bB | 99.87 ± 0.65 | aA | aA |
| 60 | 50.98 ± 0.59 | eB | eA | 63.29 ± 0.13 | dB | dB | 78.44 ± 0.70 | cB | cB | 98.70 ± 1.18 | aB | abB | 100.00 ± 0.00 | aA | aA | 100.00 ± 0.00 | aA | aA |
| 70 | 60.87 ± 0.19 | dA | dA | 80.87 ± 0.09 | cA | cA | 92.60 ± 2.47 | bA | bA | 100.00 ± 0.00 | aA | aA | 100.00 ± 0.00 | aA | aA | 100.00 ± 0.00 | aA | aA |

**表 3　微波处理绿豆象成虫的后续效应**

**Table 3　Aftereffects of microwave treatment on the adults of *Callosobruchus chinensis***

| 处理时间 Exposure time (s) | 处理功率 Power | 处理后 1 天 1 day after treatment |  |  |  | 处理后 2 天 2 days after treatment |  |  |  | 处理后 3 天 3 days after treatment |  |  |  |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  |  | 死亡率(%) Mortality | 校正死亡率(%) Corrected mortality | $P_1$ | $P_2$ | 死亡率(%) Mortality | 校正死亡率(%) Corrected mortality | $P_1$ | $P_2$ | 死亡率(%) Mortality | 校正死亡率(%) Corrected mortality | $P_1$ | $P_2$ |
| 50 | 高火 High power | 73.13 ± 0.23 | 69.96 ± 0.25 | bA | bA | 82.53 ± 0.64 | 75.26 ± 0.80 | bA | abA | 93.41 ± 0.45 | 87.74 ± 0.68 | aA | aA |
|  | 中高火 Mid-high power | 56.68 ± 0.90 | 52.35 ± 0.99 | bB | bB | 72.87 ± 0.28 | 63.31 ± 0.34 | abAB | abAB | 80.92 ± 0.08 | 68.72 ± 0.11 | aB | aB |
|  | 中火 Mid power | 45.55 ± 2.56 | 40.70 ± 2.81 | bBC | aBC | 70.71 ± 4.09 | 60.70 ± 5.07 | abABC | aAB | 79.22 ± 2.98 | 66.28 ± 4.46 | aB | aB |
|  | 解冻 Defrost | 35.53 ± 0.31 | 30.46 ± 0.34 | bCD | aCD | 57.39 ± 0.82 | 45.25 ± 1.02 | abC | aB | 70.34 ± 1.51 | 54.00 ± 2.27 | aB | aB |
|  | 中低火 Mid-low power | 23.05 ± 0.36 | 18.14 ± 0.40 | aEF | aDE | 31.54 ± 0.43 | 18.46 ± 0.53 | aD | aCD | 34.41 ± 0.58 | 13.37 ± 0.88 | aDE | aCD |
|  | 低火 Low power | 11.85 ± 0.37 | 7.82 ± 0.41 | aG | aE | 27.97 ± 0.84 | 15.21 ± 1.05 | aD | aCD | 31.45 ± 1.09 | 10.85 ± 1.63 | aDE | aDE |
| 40 | 高火 High power | 49.76 ± 1.42 | 45.07 ± 1.56 | aB | aBC | 59.59 ± 0.87 | 47.73 ± 1.08 | aBC | aB | 68.98 ± 0.42 | 52.19 ± 0.62 | aB | aB |
|  | 中高火 Mid-high power | 34.89 ± 2.06 | 29.81 ± 2.26 | aCD | aCD | 39.10 ± 2.29 | 25.78 ± 2.84 | aD | aC | 49.75 ± 1.70 | 28.72 ± 2.54 | aC | aC |
|  | 中火 Mid power | 28.12 ± 0.39 | 23.08 ± 0.43 | aDE | aD | 31.74 ± 0.37 | 18.66 ± 0.46 | aD | aCD | 40.41 ± 0.59 | 18.95 ± 0.88 | aCD | aCD |
|  | 解冻 Defrost | 14.13 ± 0.06 | 9.84 ± 0.07 | aFG | aE | 16.66 ± 0.04 | 6.03 ± 0.05 | bE | abDE | 23.96 ± 0.11 | 5.33 ± 0.17 | bEF | bDEF |
|  | 中低火 Mid-low power | 10.44 ± 0.05 | 6.61 ± 0.05 | aG | aE | 11.75 ± 0.06 | 2.84 ± 0.07 | bEF | bEF | 17.01 ± 0.02 | 1.61 ± 0.03 | cFG | bEF |
|  | 低火 Low power | 2.02 ± 0.01 | 0.41 ± 0.01 | aH | aF | 4.94 ± 0.02 | 0.08 ± 0.03 | bF | aF | 13.32 ± 0.03 | 0.41 ± 0.04 | aG | aF |
|  | 对照 CK | 0.66 ± 0.59 | - |  |  | 3.87 ± 0.15 | - |  |  | 9.98 ± 0.11 | - |  |  |

注：数据后小写字母表示在相同时间和功率下处理后不同天数的差异显著性，大写字母表示在处理后相同天数下各处理时间和功率间的差异显著性。

Notes: Small letters indicate significance between the days after treatment at the same exposure time and power. Capital letters indicate signficance between different exposure time and power at the same day after treatment.

**表 4　微波处理对红小豆发芽率的影响**

**Table 4　Effects of microwave treatment on the germination rate of adzuki beans**

| 处理时间 Exposure time (s) | 低火 Low power |  |  | 中低火 Mid-low power |  |  | 解冻 Defrost |  |  | 中火 Mid power |  |  | 中高火 Mid-high power |  |  | 高火 High power |  |  |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  | 发芽率(%) Germination rate | $P_1$ | $P_2$ | 发芽率(%) Germination rate | $P_1$ | $P_2$ | 发芽率(%) Germination rate | $P_1$ | $P_2$ | 发芽率(%) Germination rate | $P_1$ | $P_2$ | 发芽率(%) Germination rate | $P_1$ | $P_2$ | 发芽率(%) Germination rate | $P_1$ | $P_2$ |
| 20 | 91.74 ± 0.12 | aA | aA | 87.63 ± 0.23 | abA | aA | 85.95 ± 0.22 | bAB | aAB | 68.39 ± 0.22 | cB | bB | 66.69 ± 0.08 | cdB | bB | 58.36 ± 0.19 | dB | bB |
| 30 | 88.39 ± 0.09 | aA | aAB | 84.26 ± 0.19 | abA | aAB | 80.34 ± 0.77 | bB | aB | 59.17 ± 0.03 | cC | bB | 48.33 ± 0.19 | dC | bcC | 44.16 ± 0.10 | dC | cC |
| 40 | 80.85 ± 0.05 | aB | aBC | 76.71 ± 0.10 | aB | abBC | 67.53 ± 0.12 | bC | bC | 45.83 ± 0.10 | cD | cC | 34.95 ± 0.20 | dD | cD | 21.55 ± 0.28 | eD | dD |
| 50 | 75.92 ± 0.23 | aB | aC | 70.03 ± 0.09 | aB | aC | 37.50 ± 0.03 | bD | bD | 29.13 ± 0.12 | cE | bD | 18.18 ± 0.31 | dE | cE | 8.99 ± 0.30 | eE | dE |
| 60 | 62.80 ± 2.42 | aC | aD | 48.12 ± 2.39 | bC | bD | 28.18 ± 0.44 | cE | cD | 13.89 ± 0.51 | dF | dE | 7.91 ± 0.67 | eF | dF | 0.21 ± 0.84 | fF | eF |
| 对照 CK | 93.54 ± 0.32 | aA | aA | 88.61 ± 0.47 | aA | aA | 90.13 ± 0.21 | aA | aA | 92.89 ± 0.61 | aA | aA | 91.01 ± 0.30 | aA | aA | 89.21 ± 0.07 | aA | aA |

与解冻至高火间差异极显著。处理40 s时，各功率档及对照成虫平均羽化数量分别为66.50、0.50、0.00、0.00、0.00、0.00和124.00头，解冻至高火功率下都无成虫羽化。对照、低火间差异极显著，且都与中低火至高火间差异极显著。相同功率下低火和中低火在两处理时间之间成虫羽化量差异极显著。

### 2.4 微波处理对绿豆象卵的作用

微波处理对卵的杀灭作用较大，总趋势同幼虫的。5 g带单卵绿豆在低火至高火功率下处理20 s及对照的成虫羽化平均数分别是17.83头、6.17头、5.00头、3.17头、1.67头、0.67头和23.00头；处理40 s时，各功率档和对照成虫羽化平均数分别是7.83头、2.33头、2.00头、0.50头、0.00头、0.00头和22.00头。对照、低火间差异极显著，且都与其他处理间差异极显著。在功率相同时两时间处理在解冻下差异显著、在中低火和低火下则差异极显著。

### 2.5 微波处理对绿豆象成虫产卵量及卵孵化率的影响

微波处理对成虫产卵量及处理成虫所产卵的孵化率也有一定影响，总趋势也是随功率增加产卵量和卵孵化率有所降低。未交配刚羽化成虫经各功率下处理20 s后，低火至高火及对照的成虫平均产卵量分别为37.25粒、43.25粒、55.00粒、63.75粒、75.00粒、76.50粒和79.50粒；处理成虫所产卵的孵化率分别为58.07%、67.67%、71.18%、84.29%、83.83%、84.27%和86.37%。成虫产卵量对照与中低火至高火之间、低火与中火至高火之间差异显著，对照与中火至高火之间差异极显著。

### 2.6 微波处理对红小豆发芽率的影响

微波对红小豆发芽率影响见表4。从表中可看出，微波处理对红小豆发芽率影响较大，且随处理时间和功率增加而下降。红小豆在低火、中低火处理20~30 s及解冻处理20 s时发芽率为84.26%~91.74%，与对照88.61%~93.54%无显著差异。中火至高火下所有处理时间的发芽率都与对照差异极显著。中低火处理60 s、解冻50 s、中火40 s、中高火至高火30 s以上时间时发芽率都在一半以下，为0.21%~48.33%，而高火处理60 s时几乎都不发芽。

## 3 讨论

微波生物效应可分热和非热效应，前者使体温升高，后者使蛋白质结构、功能及活性发生变化(李巧玲等，2001)。本试验中昆虫在微波场处理后体温上升，水分被汽化(在干燥培养皿内处理会出现大量水蒸气)，甚至死亡。死虫体僵硬，触角、足散开或后翅伸出，特别是高火长时间处理后若碾碎虫尸则呈碎末状。豆内幼虫处理后虫尸也变干瘪僵硬，因此虫体水分散失及由此引起的生理作用可能是微波杀虫重要机理之一。微波辐照较少的未交配成虫虽没立刻死亡且配对后还能产卵，但产卵量及所产卵的孵化率明显低于对照，且随功率增加而减少，说明微波可能对成虫体内卵、精子或生殖系统造成不同程度损坏。处理后成虫死亡率也比对照高，特别在高功率下更明显(表3)，说明微波已对成虫造成某些损伤，从而使微波具一定后续效应，但后续效应特别是对虫体各种生理生化指标影响还需进一步研究。

绿豆象危害时成虫常与寄主混在一起并在豆粒间活动，即是虫豆混合物，为此本文以虫豆混合物来模拟成虫危害红小豆时的杀虫效果。相同条件下与红小豆混合的成虫死亡率明显高于裸虫的原因可能是成虫和小豆一起被加热，同时成虫与小豆密切接触，使其处于更高温度环境中，虫体温度升高比裸露的快而高。再者处理时豆内水分向外散发，散漫在炉腔内变为高温蒸汽可能有更高杀虫效果。

在相同条件下，辐射处理绿豆象(杨长举等，1993)、微波处理米象和锯谷盗(邵小龙等，2003)及菜豆象(娄巍和吕洁，1997)时，卵死亡率高于成虫的，即卵比成虫具更高敏感性。本研究与这些结果相吻合，各功率下处理40 s时卵孵化率都明显低于相同条件下成虫存活率，如中高火和高火处理成虫40 s后死亡率分别是32.83%和42.77%(表1)，而相同条件下卵死亡率为100%。与豆内幼虫相比，卵在处理40 s时除中高火和高火外，低火至中火下都有成虫羽化，而豆内幼虫只在低火、中低火下才有羽化，其它功率下全不能羽化，因此成虫、豆内幼虫和卵对微波敏感性从高到低的顺序是成虫、卵和豆内幼虫。幼虫比卵敏感的原因可能是体壁柔软无保护物，体壁与温度较高的小豆紧密接触，再者虫体和小豆因加热挥发的高温水蒸气充满幼虫所在的环境，使豆内幼虫体温升高更快而致。

用微波炉灭虫的效果受多个因素影响，如微波炉型号、输出功率、处理时间长短、虫态、虫豆比、豆种类及其含水量、处理时存放容器等。不同厂家微波炉在不同功率档的实际输出功率不同，处理效果

也不同，如 WP750 型格兰仕微波炉处理裸露虫 30 s 时中高火和高火的死亡率分别为 16.03%、20.58%，而 PJ21C-B1 型美的微波炉在此条件下为 22.13%、28.85%。其次豆内含水量对杀虫效果影响也较大，含水量高的在微波加热时会挥发出大量高温水蒸气，杀虫效果明显提高。害虫虫态、虫豆比也可影响微波杀虫效果，不同的虫态对微波敏感性不同；虫豆比也随绿豆象危害程度而变，危害重的虫豆比大；危害后还会产生粪便与碎屑，并造成豆内空洞，这些碎屑和空洞也可能影响杀虫效果。此外，微波灭虫时还需考虑豆类用途，若为种用豆类,受害较轻、储存时间短及储存环境温度较低，则可适当在低功率下处理较短时间以保证较高发芽率；若为加工或食用豆类,则可在适当较高功率下处理较长时间以获得较高杀虫效果。

用家用微波炉防治绿豆象还存在一定局限性，主要是体积通常有限(一般不超过 40 L)，不可能处理大量产品，只能是对家庭贮藏少量豆类进行处理。然而，目前我国已有一些商品化大功率、大容量的微波设备，输出功率可达 10 KW，体积可达 300 L，使利用微波大规模防治贮粮害虫成为现实。这些大型仪器即可对仓库内的产品进行规模化处理，又可在田间直接对刚收获的大宗农产品进行处理，除杀灭害虫外还可消灭农产品表面和内部的各种病原微生物，做到病、虫兼治提高工效，并大大减轻以后贮藏中病虫害防治压力，因此用工业微波炉处理农产品来防治病虫害应用前景广阔，值得大力研究开发。

微波处理虫豆混合物时，不仅对其内的害虫有杀灭作用，同时豆类品质也有一定影响。如处理板栗后腐烂和虫蛀率降低但其蛋白质等成份也有变化(尹新明等，2006)。小豆品质变化指标有多项，如蛋白质和糖类等成份变化、酶活性及适口性改变等，但本文仅对其发芽率进行试验，对其他品质指标的影响还未涉及。试验发现成虫死亡较多的处理小豆发芽率也较低，杀虫和保持小豆品质较难兼顾，给推荐理想时间和功率配置带来一定困难。但一般情况下，家庭以灭虫为主，且害虫常和豆类混在一起，因此较理想设置应以虫豆混合时微波杀虫效果为主要参考依据，具体推荐设置可有下列几个：低火、中低火处理 70 s、解冻 60 s、中火 50 s、中高火及高火 40 s。此条件下裸虫一般死亡 3% ~ 43%，虫豆混合时死亡 61% ~ 85%，豆内幼虫和豆粒表面上卵基本全部死亡，红小豆发芽率在 21% 以上。但本试验结果只能提供一个参考，具体理想设置应该根据各影响因素进行优化试验以找到最佳组合。

微波处理防治害虫具高效性、广谱性、无抗性产生、无污染、无残留，是一种很有发展前途的无公害防治农产品病虫害防治技术，具较大实际应用价值，值得大力研究与推广。本研究为家庭微波处理作为储存农产品的病虫害无公害防治提供了理论基础。

## 参 考 文 献 (References)


Chen H，Zheng W，Lu Y，2006. Study on preventing of insect pest in the fine dried noodles by microwave. *Cereals and Oils*，(9)：18 – 20. [陈慧，郑伟，陆洋，2006. 微波防止挂面出虫方法探索研究. 粮食与油脂，(9)：18 – 20]

Gao MX，Wang CY，Li SR，Zhang SF，2004. Irradiation as a phytosanitary treatment for *Callosobruchus chinensis* L. in legume. *Plant Quarantine*，18(1)：11 – 14. [高美须，王传耀，李淑荣，张生芳，2004. 辐照作为豆类中绿豆象的检疫处理方法. 植物检疫，18(1)：11 – 14]

Gong XW，Meng GL，Gui LY，Chen B，1995. Study on the integrated control technique of *Ephestia elutella* (Hübner). *J. Hubei Agri. College*，15(4)：241 – 246. [龚信文，孟国玲，桂连友，陈斌，1995. 烟草粉螟综合防治技术研究. 湖北农学院学报，15(4)：241 – 246]

Kima SI，Roha JY，Kima DH，Leeb HS，Ahna YJ，2003. Insecticidal activities of aromatic plant extracts and essential oils against *Sitophilus oryzae* and *Callosobruchus chinensis*. *J. Stored Products Res.*，39：293 – 303.

Li QL，Li L，Guo SY，Cai MY，2001. Microwave biological effects：current status and application. *Chinese Bulletin of Life Sciences*，13(3)：126 – 128. [李巧玲，李琳，郭祀远，蔡妙颜，2001. 微波生物效应研究的现状及应用. 生命科学，13(3)：126 – 128]

Li YS，Zou HY，Wang LX，Nai Z，Li WY，Na XY，Tang SZ，Yang YZ，2001. Insecticidal activity of extracts from *Eupatorium adenophorum* against four stored grain insects. *Entomological Knowledge*，38(3)：214 – 216. [李云寿，邹华英，汪禄祥，佴注，李晚谊，纳晓燕，唐绍宗，杨益章，2001. 紫茎泽兰提取物对四种储粮害虫的杀虫活性. 昆虫知识，38(3)：214 – 216]

Lou W，Lu J，1997. A test of fast killing with microwave heating. *Plant Quarantine*，11(2)：87 – 89. [娄巍，吕洁，1997. 微波加热快速杀灭菜豆象试验. 植物检疫，11(2)：87 – 89]

Lu HS，2000. A test of optimum temperature of hot water for killing *Callosobruchus chinensis*. *Guangxi Agricultural Science*，(2)：75 – 76. [陆惠生，2000. 温水烫杀绿豆象最适温度实验. 广西农业科学，(2)：75 – 76]

Opel SA，Ahmed K，1977. Some observations on the effects of gamma radiation on eggs of pulse weevils (Coleoptera：Bruchidae). *Pak. J. Sci. Ind. Res.*，18(6)：284 – 285.

Shao XL，Zhao SM，Wang ZJ，2003. Study on effect of microwave treatment on stored grain pest. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*，19(Suppl.)：215 – 217. [邵小龙，赵思明，汪正洁，

2003. 稻米仓储害虫的微波致死作用研究. 农业工程学报, 19(增刊): 215–217]

Sripakdee D, Sukontason KL, Piangjai S, Ngern-Klun R, Sukontason K, 2005. Effect of microwave irradiation on the blow fly *Chrysomya megacephala* (F.) (Diptera: Calliphoridae). *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*, 36(4): 893–895.

Tang QY, Feng MG, 2002. DPS Data Processing System for Practical Statistics. Beijing: Science Press. 1–647. [唐启义, 冯明光, 2002. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统. 北京: 科学出版社. 1–647]

Wang JZ, Tian HM, Zhang MZ, Zhang ZY, Jin WL, Liu CA, Pu SJ, Sun SL, 2005. The biological characteristics and efficacy of several insecticides on adults of *Callosobruchus chinensis* L. *Journal of Beijing Agricultural College*, 20(4): 25–28. [王进忠, 田慧敏, 张民照, 张志勇, 金文林, 刘长安, 濮绍京, 孙淑玲, 2005. 绿豆象生物学习性及室内药效测定. 北京农学院学报, 20(4): 25–28]

Xi XH, Ge LQ, Liu XL, Yan FB, Zhang LJ, Lin GF, Wu MX, Lin XF, Tong FM, Lu JK, 2004. Experiment on quick killing *Bursaphelenchus xylophilus* by high frequency microwave. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 24(6): 21–23. [奚小华, 葛吕琴, 柳希来, 颜福彬, 张丽君, 林高峰, 吴敏霞, 林雪峰, 童福梅, 吕进凯, 2004. 高频微波速杀松材线虫试验. 浙江林业科技, 24(6): 21–23]

Yang CJ, Yang ZH, Hu JF, Dong XW, Cheng ZQ, 1993. Effects of $^{60}$Co irradiation on the genetics of adzuki bean weevil. *Acta Phytophylacica Sinica*, 20(4): 331–335. [杨长举, 杨志慧, 胡建芳, 邓望喜, 程志强, 1993. $^{60}$Co 对绿豆象的辐射遗传效应. 植物保护学报, 20(4): 331–335]

Yang ZX, Li XJ, 2003. Several problems on data-processing of pesticide experiment in field. *Pesticide Science and Administration*, 24(9): 26–28. [杨竹选, 李晓军, 2003. 对于农药田间药效实验数据处理几个问题的浅见. 农药科学与管理, 24(9): 26–28]

Yin XM, Tian CH, Li MQ, Li JJ, 2006. Effect of microwave treatment on chestnut quality. *Journal of Henan Agricultural University*, 40(3): 254–257. [尹新明, 田彩红, 李梦琴, 李静静, 2006. 微波处理对板栗品质的影响. 河南农业大学学报, 40(3): 254–257]

(责任编辑: 黄玲巧)